



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ NÁVRH VÁLCOVACÍ TRATĚ OHEBNÝCH JEDNOKOMOROVÝCH TRUBEK

DESIGN OF ROLLING MILL FOR FLEXIBLE SINGLE CHAMBER TUBES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ MAŠTERA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM BLECHA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Maštera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční návrh válcovací tratě ohebných jednokomorových trubek

v anglickém jazyce:

Design of rolling mill for flexible single chamber tubes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte rešerši v oblasti technologie tváření trubek a navrhnete válcovací trať pro jednokomorové trubky z nerezového plechu o tloušťce 0.2 mm.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti výroby trubek tváření,

Navrhnete vhodný způsob výroby ohebné jednokomorové trubky pomocí tváření.

Proveďte potřebné konstrukční výpočty.

Vytvořte výkres sestavy a tři výrobní výkresy.

Seznam odborné literatury:

Novotný: Výrobní stroje - část tváření, skriptu VUT Brno

Rudolf Kopecký: Tvářecí stroje, SNTL Praha, 1979

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

MAŠTERA Lukáš: Konstrukční návrh válcovací tratě ohebných jednokomorových trubek.

Práce je dílem studenta bakalářského studia Strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně a obecně pojednává o základních problematikách spojených s konstrukčním návrhem tvářecího stroje pro výrobu ohebných jednokomorových trubek. Práce obsahuje náhled na výrobu trubek tvářením a uvedení do problematiky navrhování stroje, obzvláště pak návrhu tvářecích kol.

Klíčová slova: Tváření, válcování, trubky, profil.

Abstrakt

MAŠTERA Lukáš: The construction plan of the rolling track of unicameral flexible pipes

The Project is a masterpiece of Bachelor degree undergraduate of the Mechanical Engineering at University of Technology in Brno and in general points out the basic problems associated with constructional plan of the forming machine for flexible pipe production. The Project contains the preview of production of the pipes and problems with designing the machine mainly the forming wheels draft.

Keywords: forming, rolling, pipes, profile.

Bibliografická citace

MAŠTERA L., Konstrukční návrh válcovací tratě ohebných jednokomorových trubek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně, s pomocí rad vedoucího bakalářské práce, firemního poradce a na základě uvedené literatury.

V Brně:

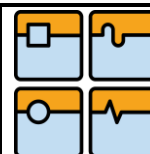
.....
MAŠTERA Lukáš

Poděkování


Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Blechovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady a Milanu Ocáskovi za konstrukční rady a připomínky při realizaci této práce.

Obsah

Zadání.....	3
Abstrakt.....	5
Bibliografická citace.....	6
1. Úvod	12
2. Rešerše v oblasti výroby trubek tváření.....	13
2.1. Trubky bezešvé	13
2.1.1. Výroba bezešvých trubek válcováním	13
2.1.1.1. Výroba předvalků	13
2.1.1.2. Finišování a kalibrace	14
2.1.2. Výroba bezešvých trubek protlačováním	16
2.1.3. Výroba bezešvých trubek tažením	16
2.2. Trubky svařované	17
2.2.1. Svařování tavné	17
2.2.1.1. Svařované trubky pod tavidlem	17
2.2.1.2. Svařované trubky laserem.....	17
2.2.2. Svařování tlakové.....	18
2.2.2.1. Svařování trubky v plynové peci na tupo	18
2.2.2.2. Svařování trubek odporem	18
2.3. Obecná rozprava	19
3. Konstrukční prvky stroje	21
3.1. Součásti stroje	22
3.1.1. Odvíjecí část	22
3.1.1.1. Zásobník polotovaru	22
3.1.1.2. Brzdění zásobníku	23
3.1.2. Rovnací část	23
3.1.3. Emulzní lázeň	24
3.1.4. Tvarovací část.....	24
3.1.4.1. Navádění do stroje	25
3.1.4.2. Sada tvarovacích kol.....	25



Válcování za studena	25
3.1.4.2.1. Průměr pracovních válců	27
3.1.4.2.2. Materiál pracovních válců	27
3.1.4.2.3. Podélný tah v pásu	28
3.1.4.2.4. Válcovací rychlost	28
3.1.4.2.5. Pohon pracovních válců	29
3.1.5. Stáčecí část	30
3.1.5.1. Rovnění profilu	30
3.1.5.2. Navádění na stáčení	30
3.1.5.3. Stáčení	30
3.1.6. Dělicí část	31
3.1.7. Odkládací část	31
4. Konstrukční návrh	32
4.1. Návrh profilu tvářecích kol	33
4.1.1. Modelování pásu ISE	34
4.1.1.1. Vytvoření profilu	35
4.1.1.2. Vzdálenost profilů	37
4.1.1.3. Vodící křivky	38
4.1.1.4. Vyhotovení modelu pásu	39
4.1.2. Modelování kol	39
5. Závěr	41
Citovaná literatura	42
Seznam použitých značek	44
Seznam příloh	44

Str. 12	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1. Úvod

Ohebné jednokomorové trubky jsou revolučním řešením mnoha konstrukčních problémů, kdy plastové trubky, či jiné nelze z bezpečnostních nebo jiných důvodů použít. Tyto ohebné trubky nám nabízí kombinaci flexibility ohebných materiálů a odolnosti, trvanlivosti a pevnosti materiálů kovových. Dominantní vlastnosti jsou tedy žáruvzdornost, odolnost proti zploštění, odolnost proti otěru a mnohé další. Naopak nevýhodu nacházíme ve váze, omezeném poloměru ohybu a v některých případech také v ceně. Produkt je již velice rozšířený a v obchodech se s ním můžeme setkat v nesčetném množství modifikací.

Hlavní význam využití technologie výroby těchto trubek zaujímá především použití jako „Sací, ventilační a přepravní hadice“, „Komínové hadice“ a „Kompenzační prvky pro užitková vozidla“. Dále pak „Krytí napájecích a řídicích kabelů obráběcích strojů“ apod. To vše podléhá normě EN 1856-2:2009. (1) (2)

Profil ISE a ISA se využívá především k ochraně kabelů, vedení nebo jiných hadic, před poškozením jiskrami, žhavými částicemi, chemickými vlivy; odstínění proti elektromagnetickým vlnám. Vyrábí se z nerezové oceli, pozinkované oceli a ostatních materiálů, pokud si zákazník zažádá.

Hlavním úkolem je nastínění problematiky při konstrukci tvářecích kol. Jejich profil odvozený z požadovaného tvářeného profilu v našem případě ISE a náhled na koncept kol ISA. Technologické prvky, jako je volba materiálu a zpracování kol dle výkresové dokumentace, která nám zde bude sloužit k následné kontrole vyrobených kol.

První část práce bude pojednávat o zpracování trubek tvářením, kde se zohlední doposud využívané metody pro tvorbu trubek, které nemají možnost ohybu. Následně pak bude uvedeno základních konstrukčních prvků potřebných v systému stroje pro tváření tenkostěnných jednokomorových ohebných (flexibilních) trubek. Závěrem bude uveden postup při konstrukci samotného tvářicího kola.



2. Rešerše v oblasti výroby trubek tvářením

Nejčastější způsob výroby trubek spočívá ve zpracování hutního materiálu válcováním, tažením a protlačováním, dále pak navíjením nebo stáčením, kdy se následně svažují. Tyto způsoby výroby nám rozdělují trubky na „bezešvé“ a „svařované“.

2.1. Trubky bezešvé¹

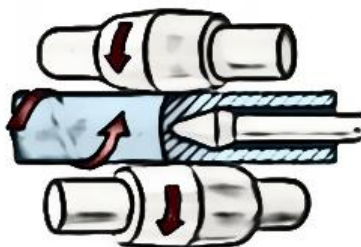
Metody používané pro výrobu bezešvých trubek jsou protlačováním a válcováním dutých předvalků a následné finišování válcováním, tažením nebo protahováním trubek. Tyto operace mohou probíhat za tepla, ale rovněž i za studena. Hlavní rozměry jsou vnější průměr trubky a tloušťka její stěny. Tato metoda je vhodná i pro neželezné kovy.

2.1.1. Výroba bezešvých trubek válcováním

Prvním předpokladem pro výrobu trubky válcováním, je vycházet z tzv. dutého předvalku. K tomu se využívá Mannesmannův způsob (

Obr. 2-I) a méně využívaný Stiefelův způsob (Obr. 2-II).

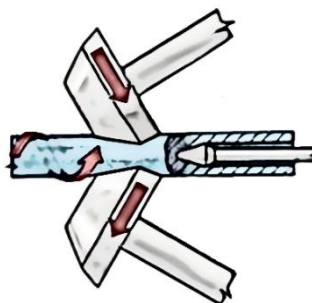
Tlustostěnný a krátký dutý předvalek dále válcujeme podélně na poutnické stoličce (Obr. 2-III) nebo na automatiku (Obr. 2-IV). U tohoto způsobu výroby je určujícím faktorem rozměru protlačovacího trnu, který rovněž slouží jako kalibrace vnitřního průměru. Pro tuto výrobu je k dispozici hned několik metod a to:



Obr. 2-I Mannesmannův způsob (3)

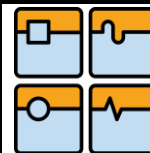
2.1.1.1. Výroba předvalků

Mannesmannův a Stiefelův způsob výroby trubek provází velké posuny materiálu, které mají za následek vznik vnitřních trhlin a velkých napětí v materiálu.



Obr. 2-II Stiefelův způsob (4)

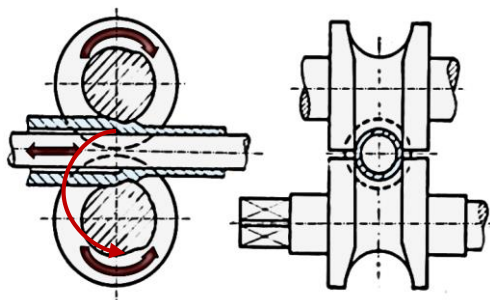
¹ (5) (25) (28) (29) (20) (7)



2.1.1.2. Finišování a kalibrace

- Poutnická stolice

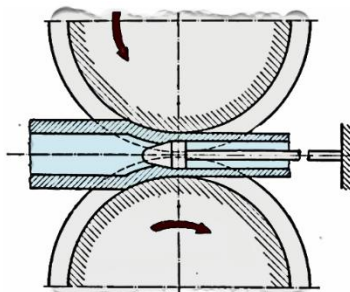
„Poutnická stolice válcuje trubky na trnu po přítržích. Má dva pracovní válce, které mají na svém obvodu kalibr, avšak jen na polovině obvodu. V druhé polovině je drážka pro trubku značně široká a v okamžiku, kdy tato širší část odepíná trubku, dojde k posunu předvalku s trnem vpřed a současnému pootočení.“ (5)



Obr. 2-III Poutnická stolice (6)

- Automatik

Automatik je válcovací stolice svým konceptem velmi podobná stoličce poutnické, pracuje však rychleji. Předvalek je tažen na kalibrační trn, kde se trubka ztenčuje a natahuje.



Obr. 2-IV Automatik (7)

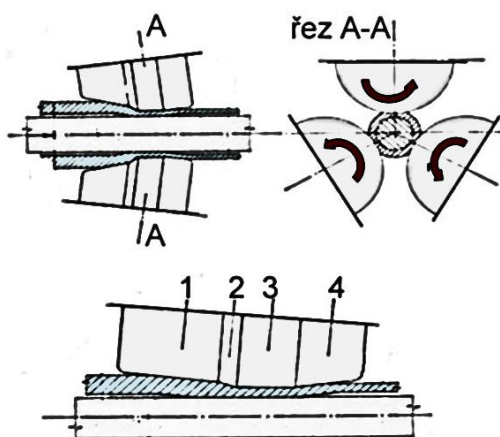


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Tříválcová válcovací stolice

Tato metoda zvaná Asselův válcovací způsob je vhodná pro průměry 40 – 200 mm o minimální tloušťce stěny 2,5 mm

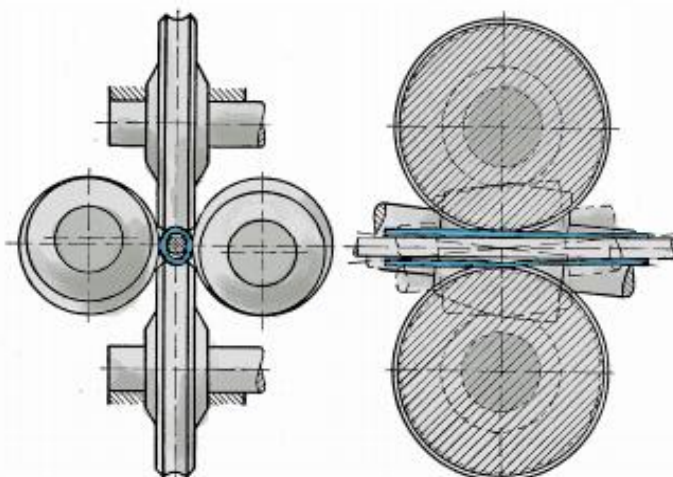
- kužel 1 záběrový, zaváděcí
- kužel 2 válcovací – provádí podstatnou část deformace
- kužel 3 rozválcovací (kalibrační – vyhlazuje povrch a kalibruje vnější průměr)
- kužel 4 je výstupní



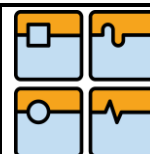
Obr. 2-V Tříválcová válcovací stolice (8)

- Stolice s přitlačnými otočnými kotouči

Tato metoda zvaná Diescherův válcovací způsob je vhodná pro výrobu trubek o průměru 50 – 150 mm s tloušťkou stěn okolo 3 mm.

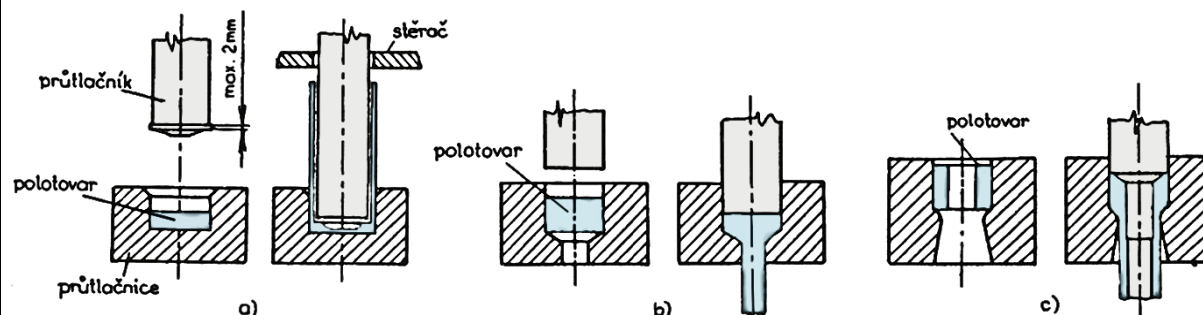


Obr. 2-VI Stolice s přitlačnými otočnými kotouči (9)



2.1.2. Výroba bezešvých trubek protlačováním

Metoda spočívá ve využití plasticity materiálu při ohřátí na teplotu před bodem tečení. Tato teplota se mění dle protlačovaného materiálu, ale pohybuje se kolem $1160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Protlačovací trn je rovněž potřeba zahřát zhruba na $350\text{ }^{\circ}\text{C}$.

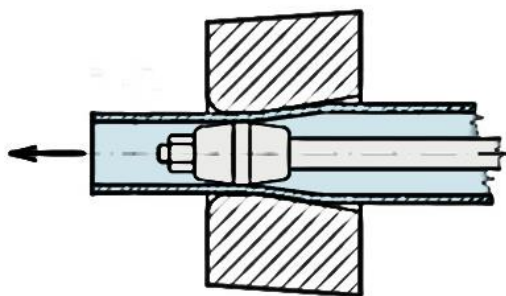


Obr. 2-VII Výroba bezešvých trubek protlačováním (7)

Základní rozdělení vychází ze směru pohybu kovu a to: a) zpětné b) přímé c) přímé duté. Touto metodou se tváří především neželezné kovy, slitiny hliníku, mědi a jiné slitiny. Při protlačování se dosahuje vysokých tlaků v závislosti na protlačovaném materiálu, řádově od $500 - 2500\text{ MPa}$.

2.1.3. Výroba bezešvých trubek tažením

Tažení je způsob tváření především za studena a pomocí tažení se kromě trubek dají vytvářet i tyče, dráty a plechy. V našem případě se jedná pouze o kalibraci hotového polotovaru tyče přes nástroje nazývané se průvlak.

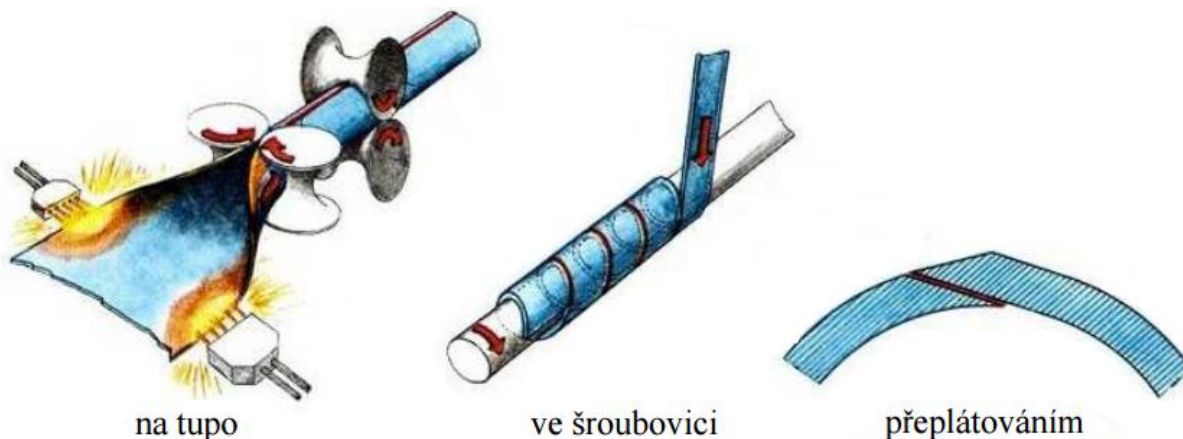


Obr. 2-VIII Výroba bezešvých trubek tažením (7)



2.2. Trubky svařované ²

Metody používané pro výrobu trubek „se švem“ jsou výhradně teplené a jedná se o svařování plamenem nebo elektrické a svařování v plynových pecích. Dále by se pak dalo rozdělit podle způsobu na svařování tlakové a tavné. Výsledný spoj musí pokračovat rovněž k finišování, jako tomu bylo u bezešvých trubek, zde se jedná o zahlcení svarového spoje a kalibraci trubky na požadovaný rozměr.



Obr. 2-IX Trubky svařované (7)

2.2.1. Svařování tavné

„Tavné svařování lze charakterizovat jako postup, kdy se přivádí energie pouze ve formě tepla a ke spojení materiálů dochází při jejich roztavení v tzv. svarové lázni.“ (10)

Nejvíce využívanou metodou je svařování elektrickým obloukem.

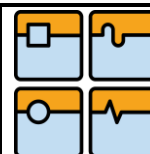
2.2.1.1. Svařované trubky pod tavidlem

Elektrický oblouk působí na již dříve zakruženou trubku a elektrodu, čímž dochází k vytvoření svarového spoje.

2.2.1.2. Svařované trubky laserem

Princip rovněž spočívá v natavení obou konců již zakružené trubky, ovšem jakost svaru je podstatně vyšší, stejně jako rychlost provedení. Ovšem to i náklady.

² (24) (10) (20)



2.2.2. Svařování tlakové

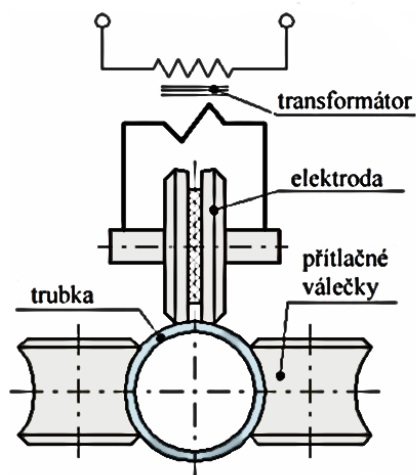
„Tlakové svařování je charakterizováno působením jak tlaku, tak tepla za vzniku plastických deformací a ke spojení dochází i při částečně natavených materiálech.“ (10)

2.2.2.1. Svařování trubky v plynové peci na tupo

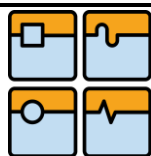
Metoda spojení svařováním v peci na tupo je vidět na Obr. 2-IX a je to dosud nejvýkonnější způsob výroby trubek. V první fázi dochází k natavení konců a následně pak k postupnému tlakovému spojení natavených konců. Vstupním polotovarem je pásová ocel.

2.2.2.2. Svařování trubek odporem

Tato metoda rovněž využívá spojení natavených ploch mírným tlakem, ovšem zde je využit princip popsáný na Obr. 2-X níže. V místě dotyku za působení tlaku vzniká nejvyšší odpor a tím i nejvyšší teplota po průchodu proudem.



Obr. 2-X Svařování trubek odporem (11)



2.3. Obecná rozprava³

Tyto metody výroby trubek tvářením převládají už více jak staletí. Moderním pojetím při konstrukci je flexibilnost a minimalizace jak nákladů, tak materiálu.



Obr. 2-XI Westfalia – výfukové potrubí (12)

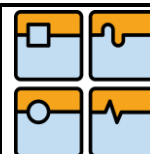
Například automobilní průmysl využívá ocelové potrubí k vedení výfukových spalin, kde teplota dosahuje více než 800 °C. Za této skutečnosti je nemyslitelné použít trubky neželezných materiálů.



Obr. 2-XII Westfalia (13)

Flexibilní ocelové trubky jsou revoluční řešení v této oblasti problematiky, ale i v mnohé jiné. Jako další příklad se dá uvést ochrana kabelů v místě častého otěru, kdy by mohlo dojít k prodření nebo zalomení hadice a tím ke ztrátě funkce.

³ (23) (30) (31) (1) (2)



Vysoké procento výroby touto metodou v současné době slouží k tvorbě tzv. komínových vložek (Obr. 2-XIII).



Obr. 2-XIII Swah (14)

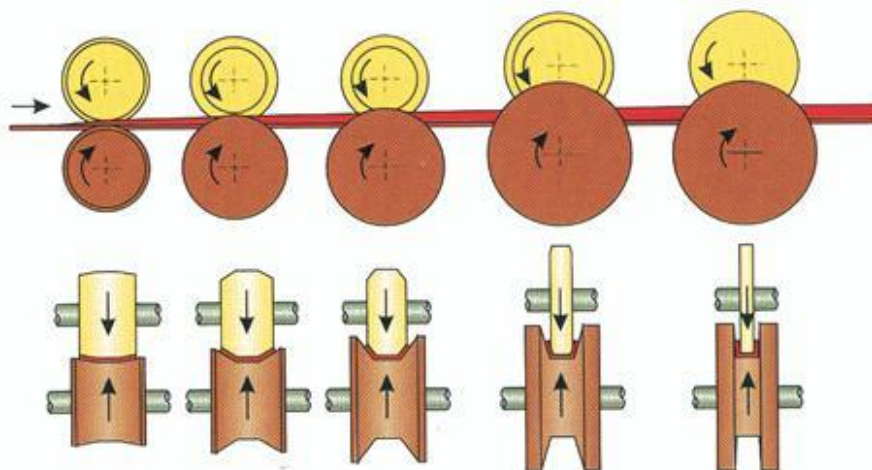
V případě výfukových potrubí vzniká spousta otázek, a to konkrétně na těsnost potrubí, což zajišťuje certifikát TS 16949. Dalším sledovaným aspektem je poloměr ohybu trubky a její možnost rozpletení a rovněž dopad na životní prostředí podléhající normě EN ISO 14001.



3. Konstrukční prvky stroje

Jako vhodný způsob výroby ohebné jednokomorové trubky se jeví kombinace stávajících technologií popsaných v kapitole 3. Výroba trubek tvářením. Bohužel žádný z těchto způsobů ani jejich kombinace nezaručí flexibilitu v takové míře, aby nedošlo k únavovému porušení.

Postup využívaný u výrobců ohebných jednokomorových i vícekomorových trubek pro výfukové systémy automobilů nebo výroby ohebných „flexi“ trubek sloužících jako komínové vložky je nejvíce podobný technologii „Objemového tváření“



Obr. 3-I Schéma válcovací stolice (15)

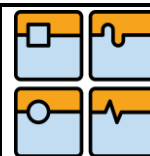
Blíže bude popsáno v kapitole Tvarovací část (3.1.4), jeho hlavním účelem je vytvarování profilu polotovaru, což jsou profilové pásy z „nerez oceli“ o síle 0.20 mm až 0.50 mm, a šířce (v našem případě) 10 mm, materiál ČSN 17 350 (1.4435), toto jsou jedny ze základních polotovarů pro průřezy „ISA a ISE“



Obr. 3-II ISA profil (16)



Obr. 3-III ISE profil (17)



3.1. Součásti stroje

Součásti stroje se dají popsat do několika sektorů, které ne-vždy musí být nutnou součástí, např. v našem případě vynechané rovnání vstupního pásu.

- Odvíjecí část
 - o Zásobník polotovaru
 - o [Brzdění zásobník]⁴
- [Rovnací část]⁴
- Emulzní lázeň
- Tvarovací část
 - o Navádění do stroje
 - o Sada tvarových kol
 - o [Navíjení na svitek]⁴
- Stáčecí část
 - o Rovnání profilu
 - o Navádění na stáčení
 - o Navíjení na trn
- Dělicí část
- Odkládací část
 - o Navíjení do svitků (hotový výrobek)

3.1.1. Odvíjecí část

Tuto skupinu prvků (Zásobník polotovaru a Brzdění zásobníku) je možné zakoupit jako hotový automatický, poloautomatický, mechanický nebo elektronický stroj.



Obr. 3-IV Odvíjecí část (18)

3.1.1.1. Zásobník polotovaru ⁵

Tloušťka pásu závisí především na druhu využití hotového polotovaru. Dolní hranice tloušťky u nízkouhlíkových ocelí je 1 mm, u ostatních druhů ocelí 1.5 mm, horní hranice tloušťky obvykle nepřesáhne 6 mm.

*„Podle chemického složení je možné rozdělit vsázkový materiál na:
uhlíkovou ocel, ocel legovanou..“ (19)*

⁴ KOMPONENTY UVEDENÉ V HRANATÝCH ZÁVORKÁCH V NAŠEM PŘÍPADĚ NEJSOU NUTNÉ
⁵ (19) (21)



V našem případě se jedná o srolovaný pásek nerezového plechu o tloušťce 0.2 mm a šířce 10 mm , ten se prodává jako polotovár v rolích.

Zásobníky mohou pojmout i více rolí svitků, popřípadě lze realizovat odvíjení jiným způsobem.

3.1.1.2. Brzdění zásobníku

Rychlost odvíjení je možno regulovat elektronickou nebo mechanickou brzdou. Ta je realizována pákovým převodem v místě průvěsu pásu a ovlivňuje rychlost odvíjení tak, aby byla zachována co možná nejkonstantnější rychlost odvíjení, která se mění poloměrem navinutého zbytku svitku. Mezi další způsoby patří odvíjení gravitační.

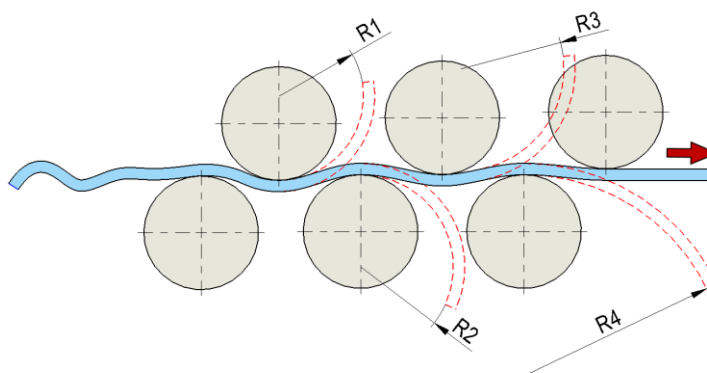
Dále se pak realizují brzdy manipulační. Manipulační brzda je realizována většinou klapkou nebo šroubem s přítlačnou plochou, pomocí níž manuálně řídíme rychlost odvíjení až k úplnému zastavení odvíjení pro možnost přesunu zařízení.

V našem případě je použito gravitační odvíjení a není nutné použití brzdy.

3.1.2. Rovnací část⁶

Rovnění pásu vycházejícího ze zásobníku se řídí dle použitého materiálu, rozměru a rychlosti zpracování. Všechny tyto faktory jsou ale dopředu neurčitě a řeší se dodatečně ve výrobním procesu.

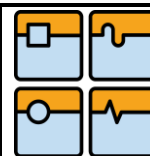
„Střídavým ohybem při průchodu mezi válci je materiál vyrovnán. Zbylá pnutí budou menší, použijeme-li střídavě rovnacích ohybů menších a menších. Přítomnost zbytkových pnutí má značný vliv na pevnost součástí a velikost odpružení.“ (20)



Obr. 3-V Schématický princip rovnání

Rovnění již zaznamenalo také široké spektrum inovací, ovšem zde není nutné a stačí pouhý základ. V našem případě a z praxe vypozařované tloušťky do 1 mm není nutné rovnání pásu použít. Do této hranice včetně slouží jako rovnání naváděcí část na tváření.

⁶ (21) (20)



3.1.3. Emulzní lázeň

Tato část je kromě samotného tváření nejpodstatnější na stroji. Trasa přivedeného pásu vede skrz olejovou lázeň, která zanechává po setření na pásu olejový film. Ten zabraňuje potrhání a přílišnému znehodnocení povrchu při tváření. Snižuje tření a síly vznikající a potřebné pro odvalení tvářecích kol.

Chladicí a mazací kapaliny používané při válcování za studen mají tyto hlavní funkce:

- Snižovat součinitel tření mezi válci a pásem
- Odvádět vznikající teplo
- Udržovat čistotu válců odplavováním nečistot a kovového otěru pásů a válců
- Dočasně chránit povrch vyválcovaného pásu až do doby žhání nebo dalšího zpracování.

Tab. 3-1 Součinitel tření různých maziv při válcování za studena (21)

Mazivo	Součinitel tření	
	A	B
Ricínový olej	0,107	0,044
Lanolín	-	0,045
Lůj	0,102	0,057
Řepkový olej	0,123	0,059
Palmový olej	0,105	0,079
Velrybí tuk	-	0,063
Minerální olej	0,145	0,080
Emulze minerálního oleje 5%	0,156	-
Suché válcování	0,28	0,121

A. Podle W. Luega, P. Funkeho a W. Dahla

B. Podle E. W. A. Hoffa a E. Orewana

3.1.4. Tvarovací část

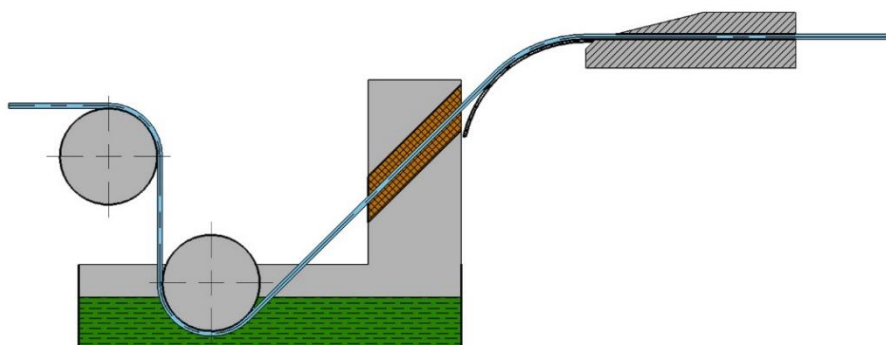
Jak již bylo dříve zmíněno, k tvarování se využívá párů tvářecích kol, na kterých dochází k plošnému přetvoření pásu obdélníkového průřezu do průřezu např. ISE. Tento profil není jediný, další profily, které se vytváří a jsou velmi rozšířeny firmou Westfalia

- Výfukové hadice – zajišťují odpružený odvod plynů (do Ø300 mm)
 - o Výfukové hadice ASS
 - o Výfukové hadice Triple S
 - o Výfukové hadice DSS
 - o Plynotěsná hadice GTH
- Ochranné hadice – ochrana proti prodření, a jiným vnějším vlivům (do Ø400 mm)
 - o Ochranné hadice ISE
 - o Ochranné hadice ISA
 - o Sací a ventilační hadice AGS
 - o Převrtní hadice FS
 - o Čtyřhranná hadice VKS(VTS)



3.1.4.1. Navádění do stroje

Samotné tváření začíná u navádění do stroje realizované rovným párem kol nebo rovnými broušenými plochami. Slouží především k vyrovnání nerovnoměrností na pásku, jeho zvlnění, a rozdíly šířek se tak minimalizují. V našem případě rovněž slouží jako rovnací část a kalibrační část.



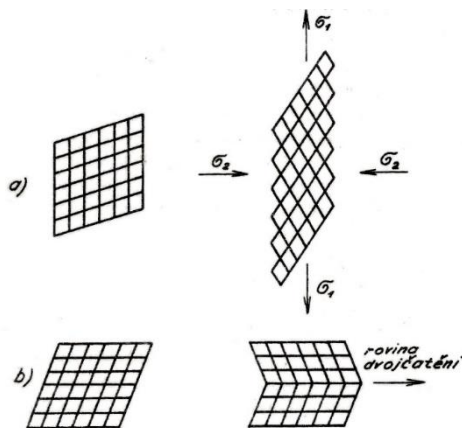
Obr. 3-VI Schéma soustavy před tvářením

3.1.4.2. Sada tvarovacích kol

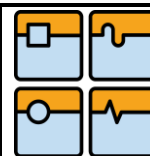
V mé práci mám za úkol věnovat pozornost hlavně tváření na válcovací trati. Toto tváření probíhá za studena, tedy teplota tváření nepřekročí rekrytalizační teplotu. Pro obecný pohled je nejpříznivější metoda Válcování za studena, která nám objasní základní pochody a problematiky při tváření.

Válcování za studena ⁷

„Vlivem vnějších sil, působících na materiál při válcování za studena, se kovové krystaly deformují. Deformace jsou podle velikosti síly nejprve pružné a při dalším růstu síly plastické. Kovový krystal se následkem své stavby nedeformuje jako beztvářá hmota, nýbrž při plastické deformaci se posouvají jednotlivé části vůči sobě po kluzných rovinách.“ (19)



Obr. 3-VII Deformace krystalové mřížky (19)



Tudíž je naším cílem dosáhnout tak velké síly, aby došlo ke změně tvaru, ale nedocházelo k ztenčení pásu. V dále citované části jsou popsány výhody, kterých se válcováním, při změně tloušťky pásu, dosáhne.

„Tváření za studena se používá tam, kde je potřebné zpevnění kovů, čistý a hladký povrch a kde jde o tváření tak malých průřezů, že by ohřev vzhledem k rychlému chladnutí kovu byl nehospodárný. Tvářením za studena se zvyšuje pevnost a tvrdost kovu, ale zejména mez kluzu, která se přibližuje k mezi pevnosti, snižuje se tažnost a zúžení a mění se i fyzikální vlastnosti kovu.“ (21)

Plastické deformaci kovů, se řídí mnoha zákony, z nichž nejdůležitější jsou:

1. Zákon smykového napětí
2. Zákon stálosti objemu
3. Zákon nejmenšího odporu

Nejdůležitějším poznatkem je Zákon o zachování objemu, z kterého vychází celý princip konstrukce a zaručí nám nejvyšší možnou cenově nenákladnou geometrii tvářecích kol. Při předpokladu, že zanedbáme šíření materiálu, které u pásu není značné a za předpokladu, že se objem válcovaného materiálu nemění a Poissonův součinitel pro plastickou deformaci se rovná 0,5, platí dle Hookova zákona:

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} \left(\sigma_2 - \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2} \right) = 0 \quad 1.1.$$

Kde ε_2 je prodloužení kovu ve směru napětí σ_2 , E – modul pružnosti kovu.

Z rovnice 1.1. potom vyplývá po dosazení do Hubertovy podmínky:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_K = 1.155 \sigma_K \quad 1.2.$$

Dále z Mohrovi rovnice a rovnice 1.2. vyjádříme společným výrazem:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \eta \cdot \sigma_K \quad 1.3.$$

Přičemž se velikost η pohybuje v rozmezí $1 \div 1.155$

Z rovnice 1.3. vyplývá, plastická deformace začne, když na objemovou jednotku kovu začne působit napětí

$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq \eta \cdot \sigma_K \quad 1.4.$$

Jehož vlivem dochází k tečení materiálu ve směru nejmenšího napětí σ_3 .

Potřebné napětí σ_1 odpovídající měrnému válcovacímu tlaku se nazývá *přetvárným odporem k*

$$k = \sigma_1 = \eta \cdot \sigma_K + \sigma_3 \quad 1.5.$$

Kde σ_K je přetvárná pevnost, σ_3 je třetí hlavní napětí

„Přetvárný odpor kovu se po délce i šířce plochy styku mezi válci a válcovaným materiálem značně mění. Zákonitost této změny je složitá, proto se v praktických výpočtech zavádí pro zjednodušení střední přetvárný odpor $k_{stř.}$ “ (21)

Přetvárná pevnost σ_K , která je jednou ze složek $k_{stř}$ závisí na chemickém složení materiálu, jeho teplotě a rychlosti deformace. Při tváření za studena se přetvárná pevnost rovná střední hodnotě meze kluzu $\sigma_{0,2}$ kovu před tvářením a po něm.

$$\sigma_K = \frac{\sigma_{K,0} + \sigma_{K,1}}{2} \quad 1.6.$$

Kde $\sigma_{K,0}$ je mez kluzu $\sigma_{0,2}$ před tvářením [$N \cdot mm^{-2}$], $\sigma_{K,1}$ je mez kluzu $\sigma_{0,2}$ po tváření [$N \cdot mm^{-2}$]

Druhou složkou přetvárného odporu je třetí hlavní napětí σ_3 , které závisí především na velikosti proměnného součinitele tření mezi válcí a válcovaným kovem a na velikosti a tvaru stykové plochy mezi válcem a tvářeným kovem. Z tohoto důvodu je nezbytné mazání pásku před samotným tvářením.

Poměr přetvárné pevnosti σ_K ke střednímu přetvárnému odporu materiálu $k_{stř}$ se nazývá přetvárná účinnost η .

3.1.4.2.1. Průměr pracovních válců

Z rovnic v předchozí kapitole vyplývá, že velikost průměru válců má podstatný vliv na válcovací pochod a to zejména na:

- Přetvárný odpor kovu
- Válcovací síly a spotřeby válcovací energie
- Nejmenší dosažitelnou tloušťku
- Šíření pásu
- Trvanlivost a životnost válců
- Rovnací a leštící účinek válců
- Záběrovou schopnost válců

„Pro přibližný odhad lze počítat s tím, že u měkké nelegované oceli lze bez potíží dosáhnout tloučky pásu rovné jedné dvoutisícině a u tvrdších druhů oceli tloušťky rovné jedné tisícině průměru pracovních válců.“ (21)

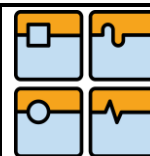
3.1.4.2.2. Materiál pracovních válců ⁸

Tvářecí kola jsou v tomto případě nástroji, proto musí být velice odolné mající dlouhou životnost a pokud možno levné. Tento aspekt nám zajistí vysokolegované oceli.

Splňují především požadavky pro stříhací nástroje, formy, řezné nástroje a hlavně pro nástroje k tváření za studena. Odolávají vysokým tlakům a tím nám zaručí dlouhou životnost. Z praxe se pár kol kontroluje po ¼ až 1 roce provozu.

Nejvhodnější a námi použitá ocel je dle ČSN EN 41 9573 označená číslem 19 573 (1.2379), kde nás především zajímá její tvrdost (HRC) 60-62 (do 100°C) a mez kluzu v tlaku 3000 Mpa. Následným „Sekundárním kalením“ (22) se dá dosáhnout daleko vyšších parametrů tvrdosti, které nám jen prodlouží životnost. Rovněž je možné nitridovat, což není nutné.

⁸ (32) (33) (22)



3.1.4.2.3. Podélný tah v pásu

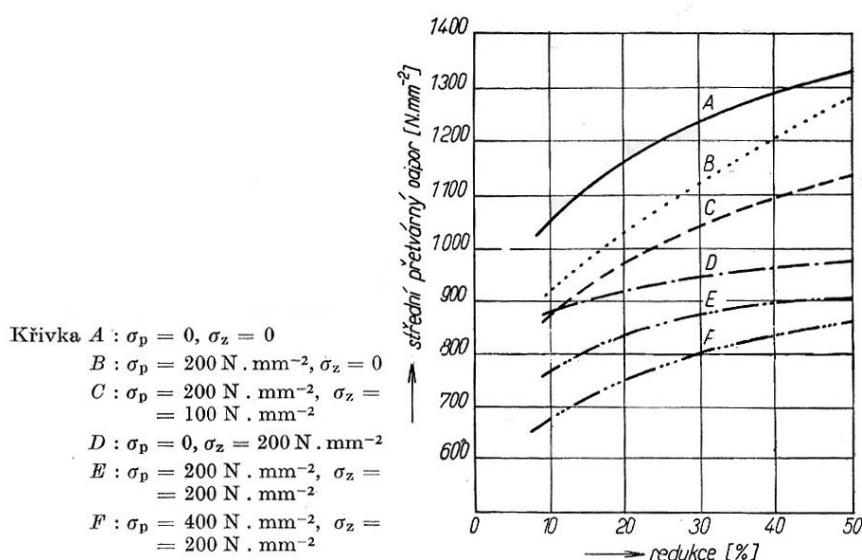
Použití podélných tahů v pásu je nezbytné a v našem případě realizování změnou průměru a tím obvodové rychlosti kol.

Tah se projevuje příznivě:

- Podporuje vyválnování rovinného a přímého pásu
- Snižuje přetvárný odpor kovu a tím i válcovací sílu

„Podélné tahy v pásu se obzvlášť příznivě projevují a jsou nezbytné při válcování válců malého průměru, nebo při válcování velmi tenkých pásů.“
(21)

Musíme brát ohled na možnost přetržení pásu, a proto tahy nesmí být vyšší než 0,3 až 0,4 σ_{Kt} a neměly by být menší než 0,1 σ_{Kt} . V praxi se měrné tahy využívají pro nerezavějící ocel žíhanou kolem $110 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ a pro zpevněný pás $350 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ průřezu pásu.



Obr. 3-VIII Vliv podélných tahů (21)

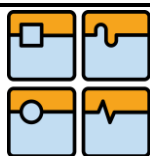
Na Obr. 3-VIII je znázorněn vliv různých podélných tahů na přetvárný odpor pásu tlustého 0,2 mm z uhlíkové oceli s 1,12% C za různých redukcí tloušťky při jednom průchodu válců

3.1.4.2.4. Válcovací rychlost

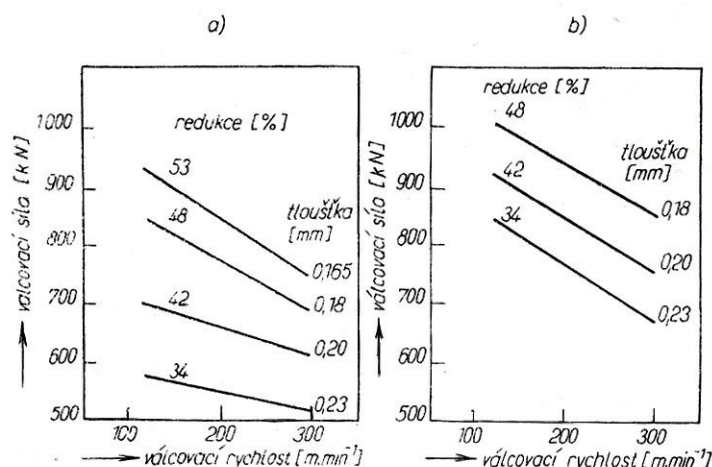
Dle literatury bývá válcovací rychlost za studena asi $250 \text{ až } 1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tím se může přetvárná pevnost hlubokotažného plechu vlivem zvýšení deformační rychlosti zvýšit až o $200 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Střední deformační rychlost při válcování pásu se zanedbáním šíření se vypočítá podle Celikovova vzorce:

$$v_{st} = \frac{v_1 \cdot h_1}{l_d} \cdot \left(\frac{1}{h_1} - \frac{1}{h_0} \right) = \frac{v_1 \cdot l_d}{r \cdot h_0} \approx \frac{v_1 \cdot \Delta h}{l_d \cdot h_0} \quad 1.7.$$

Kde v_1 je rychlost výstupu kovu z válce, l_d je délka oblouku styku, h_0 je vstupní tloušťka pásu, h_1 výstupní tloušťka pásu.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 3-IX Vliv válcovací rychlosti na změnu válcovací síly při válcování pásu tlustého 0,3mm z měkké nelegované oceli různými úběry a při mazání palmovým olejem (a) a emulzí minerálního oleje (b) (21)

Z grafu na Obr. 3-IX je patrné, že nejvhodnější válcovací rychlost je $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, kde převažují příznivé vlivy mazání a poklesy přetvárných tlaků.

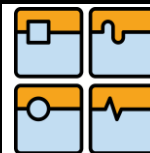
3.1.4.2.5. Pohon pracovních válců

K pohonu je zde využito mnohem kompaktnějšího řešení, než při pohonu válcovacích tratí jednotlivými servopohony nebo rozvodovými skříněmi na každý pár kol samostatně. Využívá se zpravidla jednoho elektromotoru a rozvodu kardanovým hřídelem na ozubenou soustavu, která v sobě skrývá jak rozvod, možnost zapojení pohonu horních či spodních kol, tak i pojištění proti přetížení. Náorné zobrazení stroje mající 5 párů kol a tvarovací profil ISA



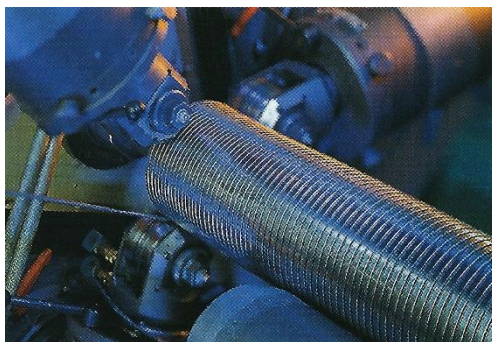
Obr. 3-X Pohonné ústrojí pro profil ISA

Další způsoby pohonu jsou řemenovými převody v kombinaci s kuličkovou spojkou, která nám umožňuje rovněž bez větších mechanických zásahů elegantně zařadit nebo vyřadit kola z oběhu. Samotná kulička pak slouží jako pojištění proti přetížení.



3.1.5. Stáčecí část

Realizuje se buď přímo na stroji, nebo na stáčecím stroji odděleném od tvářecího. Oba druhy stáčení mají možnost měnit vnitřní průměr, který se nejprve nahrubo natočí a dále pak kalibruje na přesný rozměr (na trn). Vzniká nekonečná spirála navíjená do zásobníku.



Obr. 3-XI Tříbodové stáčení na trn (23)

Toto není obsahem mé práce, a proto bude problematika popsána velmi stručně.

3.1.5.1. Rovnání profilu

- Realizováno podobně jako v případě navádění na tváření, vybroušenými vodítky požadovaného profilu

3.1.5.2. Navádění na stáčení

- Realizováno buď kontinuálně za strojem, kdy přímo po tvarování dochází ke stáčení
- Nebo se profil namotává do svitků a přenáší na jiný stroj, který je dále stáčí na požadovaný průměr

3.1.5.3. Stáčení

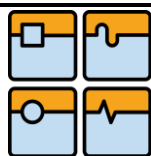
- Stáčení lze provádět třemi páry kol a trnem, který vytváří daný konečný průměr, tudíž slouží i jako kalibr. Trn je zapotřebí řídit otáčkami, odpovídajícími obvodové rychlosti v závislosti na požadovaném průměru. To je realizováno pomocí páru ozubených kol. Tento způsob je vhodný pro trubky od průměru 20 mm do průměru 150 mm



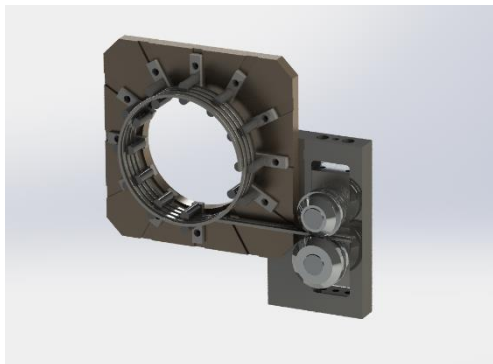
Obr. 3-XII Tříbodové stáčení na trn – reálný stroj



Obr. 3-XIII Trn tříbodového stáčení



- Nebo samovolným stáčením 6 – 18 páry vodících rolen, které postupně stáčí profil do sebe. Tento způsob je ovšem velmi nepřesný a provází jej mnoho komplikací při realizaci profilů bez zámků, nebo profilů doplněných o těsnicí vložky. Lze vidět na obrázcích modelu. Tento způsob je vhodný pro trubky nad 150 mm průměru.



Obr. 3-XIV Samovolné stáčení 12 páry vodících rolen

3.1.6. Dělicí část

Dělení probíhá buď strojní součástí podobné odporovému svařování, kdy dojde k přetavení a konec se normálně zakruží, nebo úhlovou bruskou lidově nazývanou flexa.

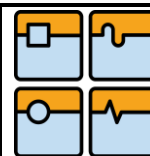


Obr. 3-XV Kompletace části svodu (23)

Nevzhledné a ostré hrany konců trubek jsou ve většině případů opatřeny spojovacími kroužky, které usnadňují montáž a demontáž dané části potrubí na své místo. Obzvláště u nerezových trubek je tento konec velmi důležitý, aby nedošlo k poranění při operacích s potrubím. Komínové vložky z hliníkových nebo jiných měkkých materiálů zůstávají nekrytované.

3.1.7. Odkládací část

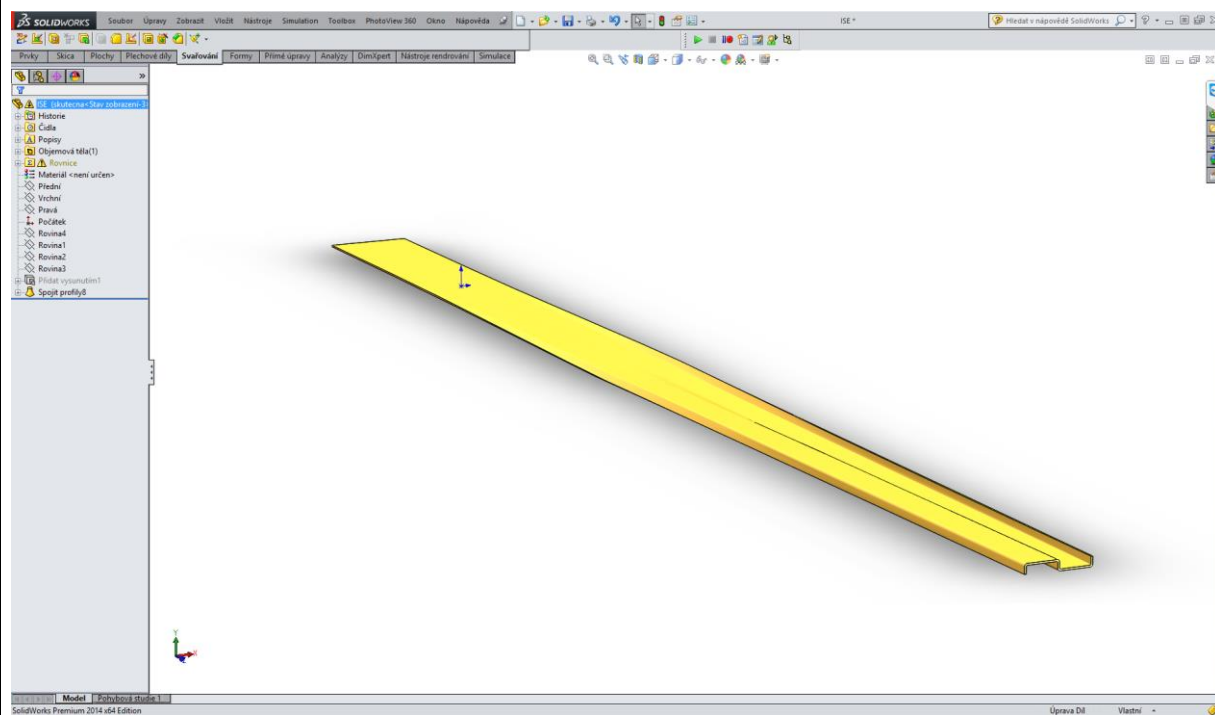
V konečné fázi je flexibilní nerezová trubka zpravidla navinuta na buben nebo cívku, což je velmi podobný princip jako uchovávání zavlažovacích zemědělských hadic. Buben pak slouží k distribuci prodejcům a hadice se prodává v metráži.



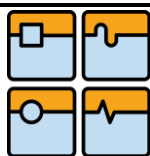
4. Konstrukční návrh

Modely a výkresovou dokumentaci jsem zhotovil v programu Solid Works 2014.

Program umožňuje tvorbu konstrukčních prvků, následnou úpravu a zhotovení výkresové dokumentace. Hlavním předpokladem je využití parametrického modelu, u kterého program bude schopný spočítat objem dle kapitoly „Válcování za studena“ „Zákona o zachování objemu“ (19), při jednoduché a rychlé změně parametrů. Parametry zde jsou: délky rozvinů, poloměry zaoblení a deformace průřezu neutrální osy pro zadanou tloušťku pásku $TL = 0.20 \text{ mm}$ a šířku pásku $B = 10 \text{ mm}$.



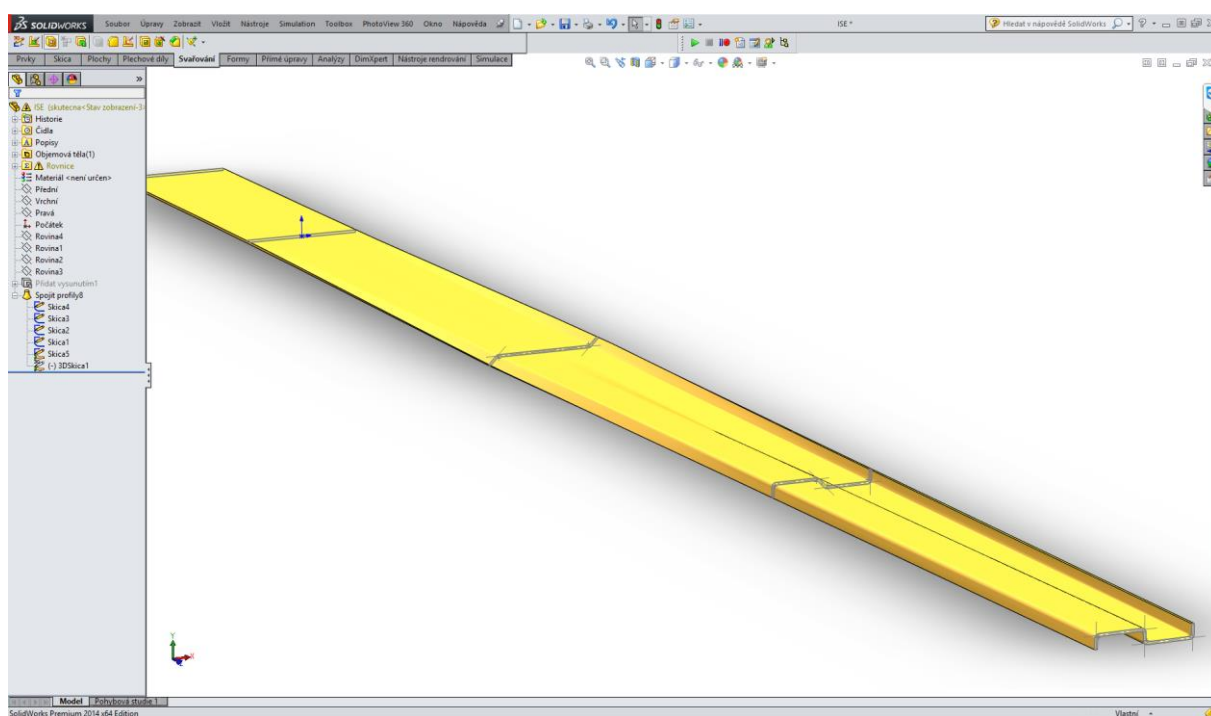
Obr. 4-1 Výsledný model pásku ISE



4.1. Návrh profilu tvářecích kol

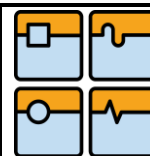
Abychom dostali profil kol, musíme znát geometrii požadovaného profilu v každém bodě. Metod profilování může být pro jeden profil celá řada. Metody jsou zjišťovány převážně experimentální metodou, a proto jí nebudeme věnovat takovou pozornost.

Tyto metody vychází z principu tečení materiálu a jeho schopnosti přetvoření. Je potřeba jednotlivé fáze přetvoření zkombinovat v pořadí nejvhodnějším pro daný materiál. Při přílišném tvarovém pochodu materiál značně zeslabne a pásek se přetrhne.



Obr. 4-II Profily modelu pásku ISE

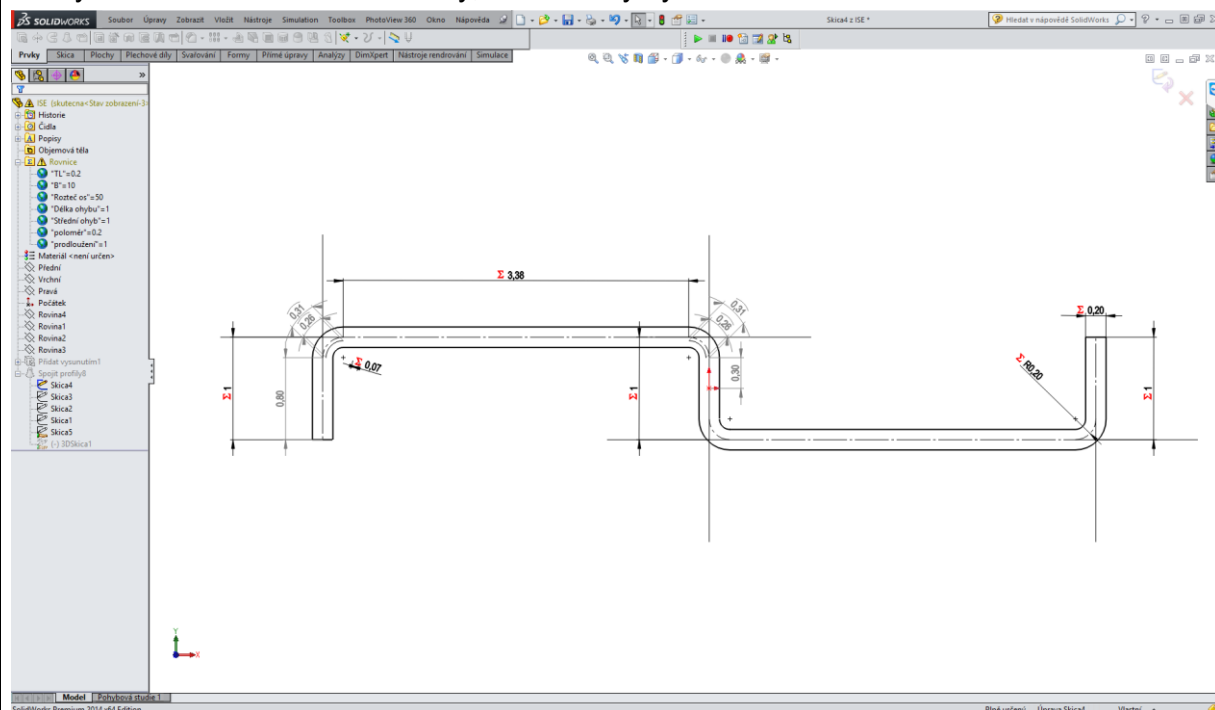
Profily jsou vytvořeny na základě kapitoly Tvarovací část (3.1.4) a začínají rovnací částí.



4.1.1. Modelování pásku ISE⁹

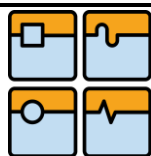
Základem jsou profily a funkce „Přidání pomocí spojení profilů“, tato funkce se nachází ve všech modelovacích programech (např. Inventor, Catia, ProEngineer,...) a umožňuje spojit jednotlivé skici za vzniku objemového tělesa. Pro postup při profilování vybereme například poslední konečný profil.

Tato funkce ale sama o sobě není dokonalá, jednotlivé profily by sice na vytváření tvářecích kol stačily, ale neurčily by nám vzdálenost os.



Obr. 4-III Konečný profil modelu pásku ISE

Čím přesnější bude parametrický model, tím menší bude odchylka, která v konečném důsledku způsobuje chyby, jako například na obrázku Obr. 4-IV



Obr. 4-IV Chyba při výrobě pásku ISE v praxi

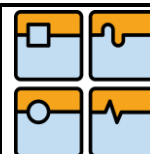
Zde byla chyba způsobena vyjetím profilu pásku z profilu tvářecího kola a tím nedostatečné naprofilování, které vedlo k výrobě zmetkové části. Výhodou je, že se tyto ohebné trubky prodávají v metráži, tudíž se jen zmetková část odstraní a navede se znovu pásek do stroje s korekcí odchylky kola.

Na obrázku Obr. 4-III Koncový profil modelu pásku ISE jsou vyznačeny šedými kótami úseky neutrální osy. Je velmi důležité dodržet šíři rozvinu. Pásek tváříme, ale nelisujeme, a z toho důvodu, za jistých zanedbatelných přetvoření, vycházíme z konstantní šíře pásku (považujeme jej za rozvin). Ve skutečnosti dochází k mírnému roztahování, které se kompenzuje vzdáleností os tvářecích kol.

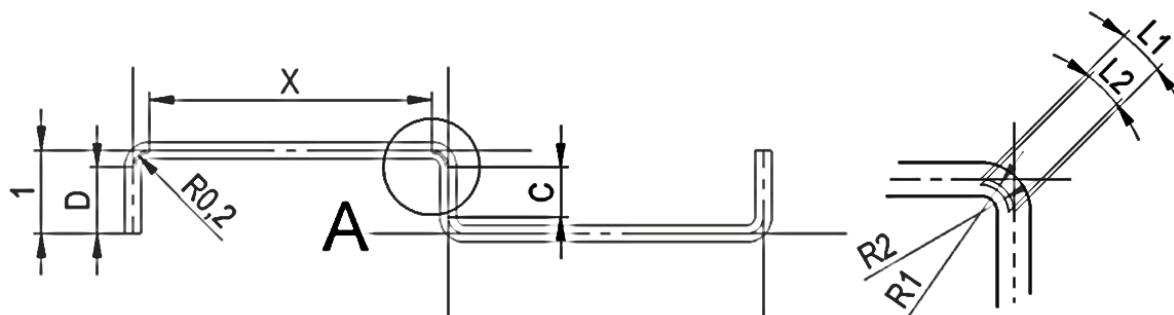
K modelování jsem využil tzv. „reverzního charakteru modelování“ nejprve zhotovíme požadovaný produkt a následně tvářicí nástroje.

4.1.1.1. Vytvoření profilu

Požadovaná délka ohýbané strany je 1 mm , tomu musí odpovídat střední ohýbaná část, aby do sebe profil zapadl, což je rovněž 1 mm . V neposlední řadě zde hraje roli poloměr ohybu. Ten si volíme dle tloušťky pásku a úhlu ohnutí. Ve všech případech však nesmí být poloměr vnitřní strany nižší než tloušťka pásu, aby nedocházelo ke krabacení, praskání a tím znehodnocení povrchu. Tyto parametry jsou rovněž z velké míry ovlivněny výběrem materiálu. V našem případě jde tedy o poloměr $TL = 0.20\text{ mm}$.



Délka rozvinu:



DETAIL A
MĚŘÍTKO 20 : 1

Obr. 4-V Schéma posledního profilu modelu pásku ISE

Zjednodušený výpočet

$$X = \frac{B - (2 * D + 4 * L1 + C)}{2}$$

Z tohoto vzorce dostaneme teoretickou šířku zbývajících dvou částí profilu tak, aby byl plně určený.

Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou malá tahová napětí, nepřekračující mez kluzu. Proto jsou v přechodu mezi těmito pásmy vlákna bez napětí a deformace. Jejich spojnice tvoří tzv. „neutrální osa“, ve které není napětí a která se při ohybu ani neprodluhuje ani nezkracuje. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu, ale při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Z tohoto důvodu se používá přesnější výpočet.

Přesnější výpočet

$$X' = \frac{B - (2 * D + 4 * L2 + C)}{2}$$

Pro R2

$$R2 = \frac{R1}{1.2} [m]$$

A následně délka oblouku L2, D a C

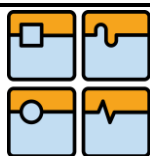
$$L2 = \frac{2 * \alpha * \pi * R2}{360^\circ} [m]$$

$$D = 1 - R1 [m]$$

$$C = 1 - 2 * R1 [m]$$

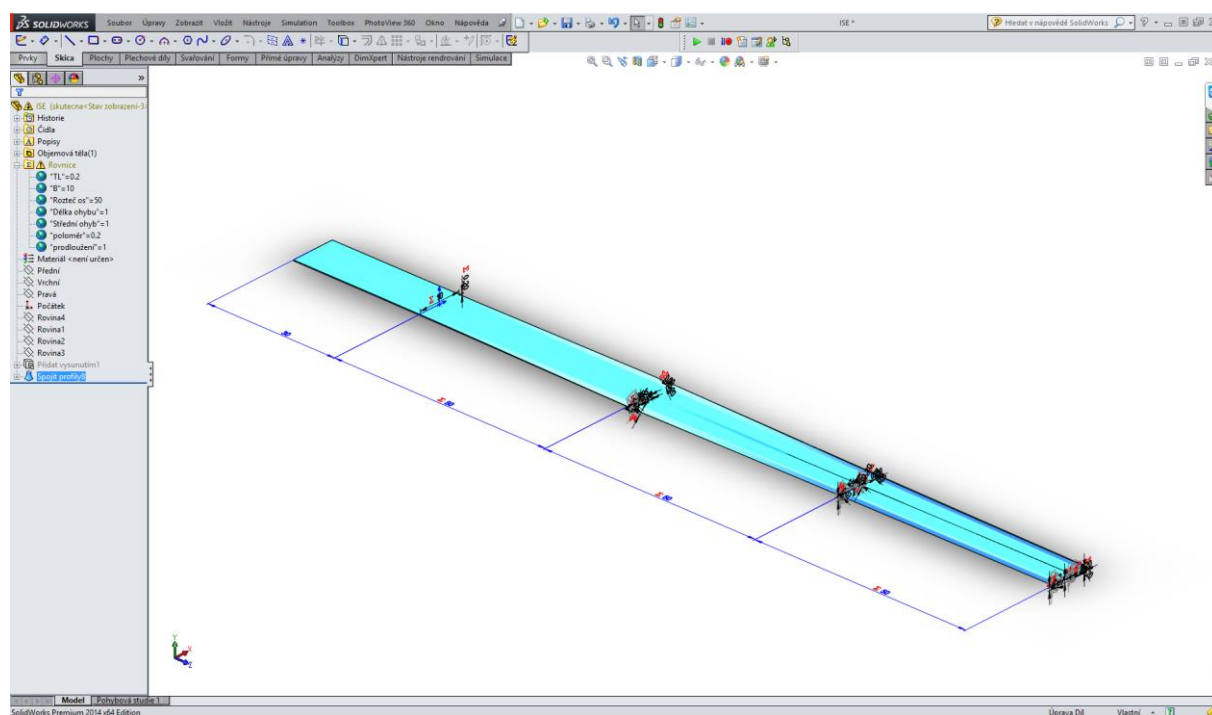
Tab. 4-I Hodnoty X' pro profil ISE, tloušťku 0.20 mm, šířku 10 mm

Profil	Skica 1	Skica 2	Skica 3	Skica 4
X' [mm]	10	3.95	3.39	3.38



4.1.1.2. Vzdálenost profilů

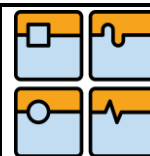
Vzdálenost profilu jsem zde doposud neuvedl, avšak bez tohoto parametru bychom nezískali vůbec nic. Takže jednotlivé profily zasadíme na parametricky vzdálené plochy.



Obr. 4-VI Vzdálenosti rovin s profily pro model pásku ISE

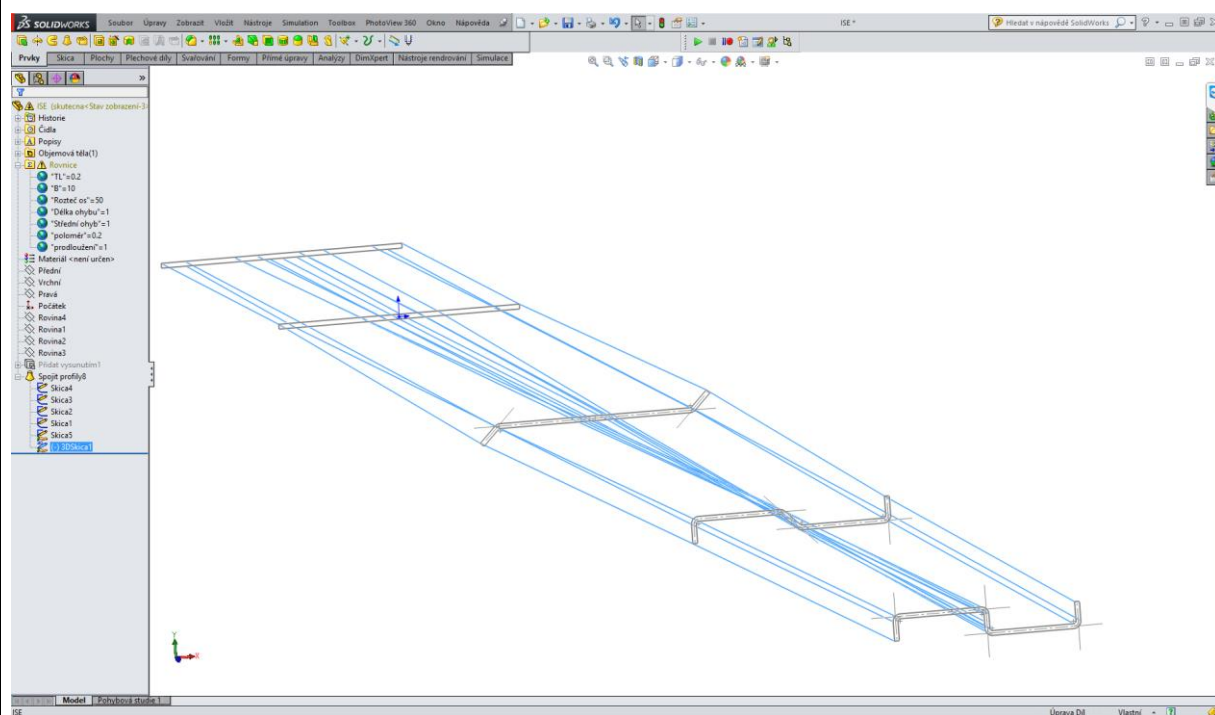
Vzdálenosti ploch jsem provázal rovnicí závislou na „koeficientu prodloužení“

- Tento koeficient nebyl v práci popsán z důvodů cenzury viz. Závěr



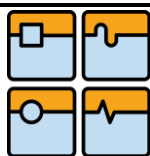
4.1.1.3. Vodící křivky

Nyní je zapotřebí zhotovit vodící křivky. Ty zaručí přesnější výpočet ploch modelu, zabrání křížení ploch a chybám, díky kterým by profily nemusely jít spojit. Na obrázku Obr. 4-VII Vodící křivky pro model pásku ISE jsou označeny jako „3DSkica1“



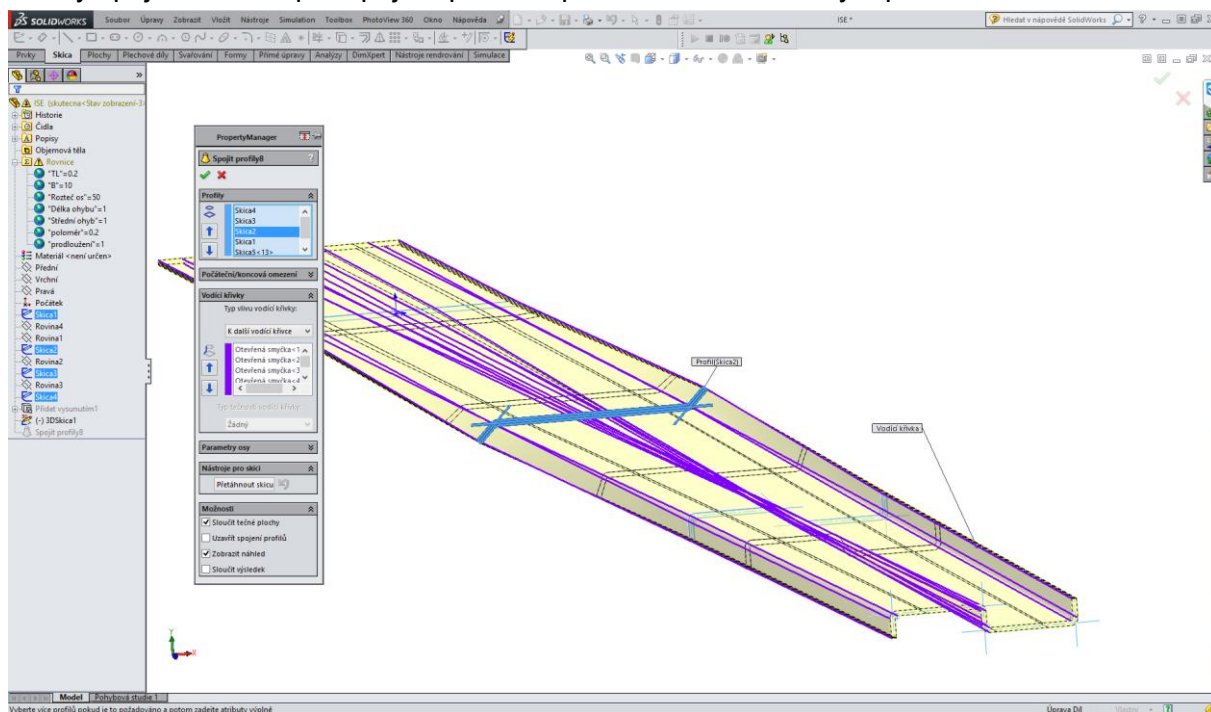
Obr. 4-VII Vodící křivky pro model pásku ISE

Křivky se dají vytvořit funkcí „Splajn“, která zaručí přirozený ohyb, ale zanedbatelně se liší proti spojení přímkami, proto je zde použito méně náročné a rychlejší metody s přímkami. Ty vycházejí z jednotlivých hran, které by mohly tvořit neurčité plochy, je lepší udělat všechny, ale někdy stačí i jedna.



4.1.1.4. Vyhotovení modelu pásku

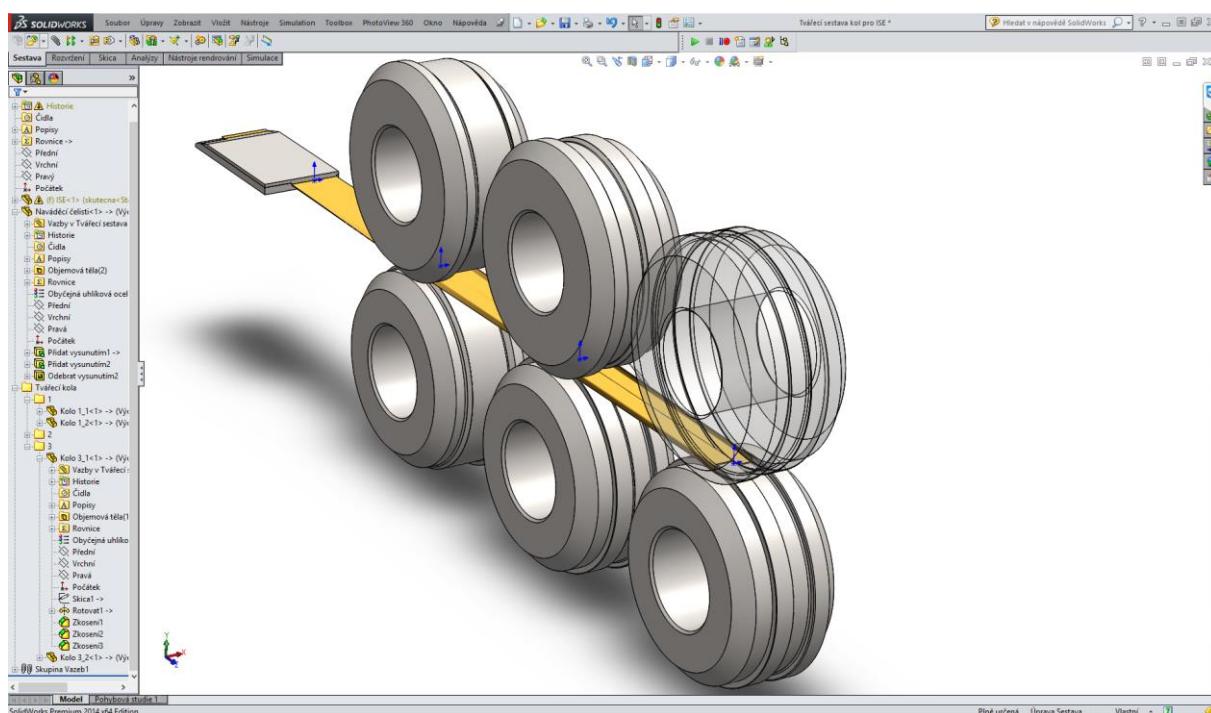
Profily spojíme funkcí pro spojení profilů a přiřadíme vodící křivky k plochám.



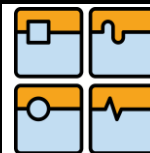
Obr. 4-VIII Kompletace částí pro vytvoření modelu pásku ISE

Jak už bylo několikrát zmíněno, je zapotřebí zachovat Objem pásku před a po natvarování. K tomu v aplikaci Solid poslouží „Čidlo“. Výpočet by v této fázi byl zbytečně zdlouhavý.

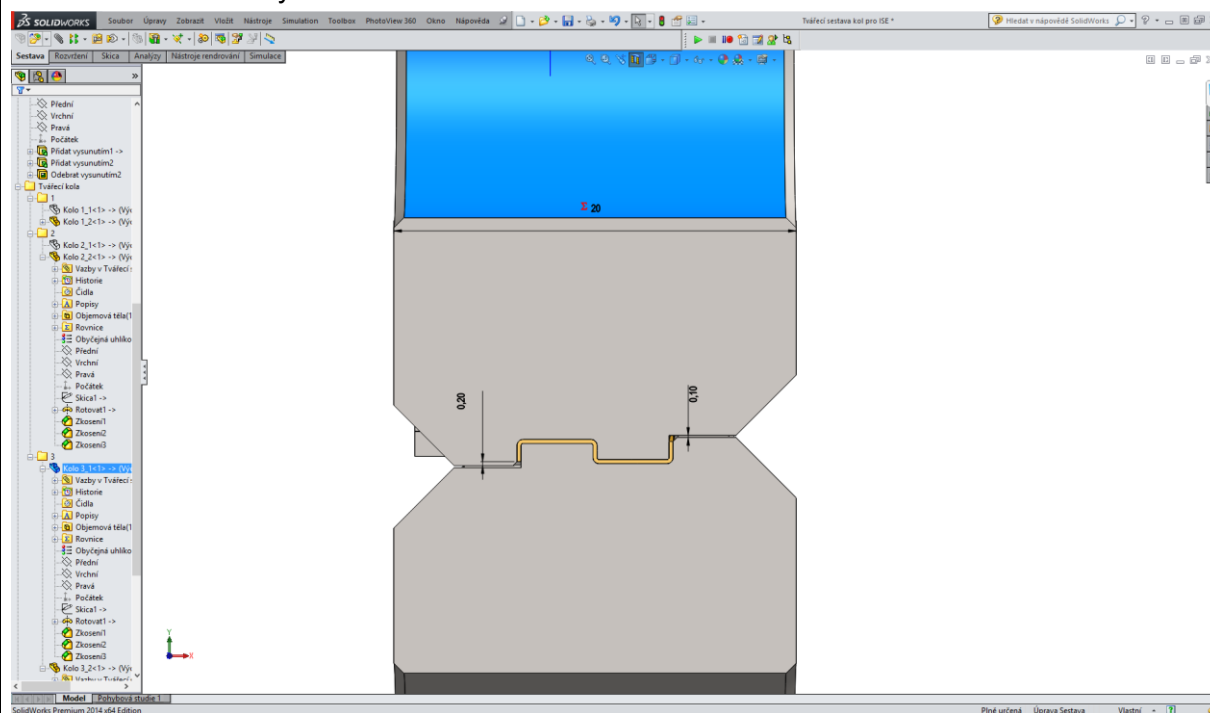
4.1.2. Modelování kol



Obr. 4-IX Sestava kol pro tvarování pásku ISE



K modelování kol již velice stručně. Základem je plocha vymodelovaného pásku, která se jen promítne do skici pro rotaci kola. Vnější okraje jsou vybaveny vodícími prvky, které zabraňují vyjetí pásku z kol a zaručují stejnoměrné rozložení přitlačné síly, nejen z důvodů volně axiálně uložených horních kol.



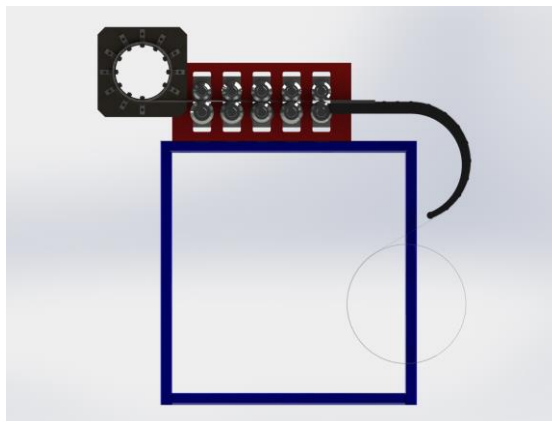
Obr. 4-X Odvození geometrie posledního páru kol podle profilu páska ISE

Jedná se pouze o sadu rotací dle profilu pásku. Výsledkem je pak součást, ke které jsem zpracoval výkresovou dokumentaci přiloženou v příloze. Tyto výkresy slouží jako dokumentace k měření po obrobení a broušení. Způsob obrobení bych navrhl na číslicově řízeném stroji a následné obroušení na tři upnutí.

Prvně brousit boky kol rozměru 20mm , následně vybroušení otvoru 18 a v poslední řadě upnutí na hroty a přejetí hlavního tvářecího profilu.



Obr. 4-XI Uložení soustavy kol pro ISA



Obr. 4-XII Uložení soustavy kol pro ISA



5. Závěr

Objemové tváření trubek je notoricky známé, ale nebudeme říkat přežité. Tento způsob výroby trubek je osvědčený a doveden do dokonalosti, která ušetří čas i peníze při výrobě a tím i peníze spotřebitele. Nosné konstrukce, vedení kapalin, dekorace, ... ale jak spojit dvě navzájem pohybující se součásti v prostoru, za stejných výhod, které nám přináší trubka ocelová, proti trubkám z neželezných kovů?

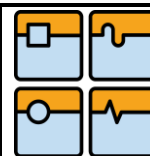
Způsob výroby těchto trubek není zatím příliš rozšířený a pro Evropu je velice málo firem, které tyto způsoby využívají a zásobují trh nejrůznějšími modifikacemi této trubky. Některé se specializují na těsnost, jiné na odolnost. Využití je nesčetné, ale samotné trubky jako hutní polotovary samozřejmě nenahradí. Metoda výroby zaručující ohebnost trubek spočívá ve dvou fázích a to objemovém tváření tenkostěnného pásu plechu a jeho následné zakružování. Touto metodou lze vytvořit libovolný průměr a teoreticky nekonečně dlouhou trubku, které se v praxi dělají nejdelší 21 metrů.

V mé práci jsem uvedl základní konstrukční prvky, které jsou zapotřebí pro správný chod a k dosažení požadovaného výsledku a tím je hlavně spokojenost zákazníka. Většina potřebných prvků se již sériově vyrábí jako doplňky k jiným strojům a proto jich nesmíme váhat využít. Značně se tím sníží náklady na stroj jako celek.

Konstrukční návrh kol potřebných k tváření tenkého plechu není nijak výrazně složitý a nepřináší žádná zrádná úskalí, pokud se pečlivě spojí všechny přítomné technologie a dodrží se základní zákony. Nejvíce podobným obecným procesem je v tomto případě Válcování za studena, které jsem stručně popsal v samostatné podkapitole. Vybral jsem základní vzorce pro objasnění problematiky při jednotlivých procesech tváření a zohlednil je na náš proces. Hlubší uvedení do problematiky však nebylo možné. Firmy, které mi při vypracování této práce ochotně vydaly podklady, si nepřály, abych uváděl konkrétní know-how, na kterém stojí základ jejich základy. Ovšem pro mne to byl cenný přínos zkušeností v této oblasti tváření.

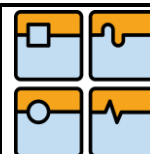
Hlavním úkolem bylo přiblížit konstrukční návrh tvářecích kol. Popsal jsem obecný postup tváření a následně uvedl příklad pro konkrétní mnou zvolený profil ISE, který je jeden z nejrozšířenějších ve výrobě. Modeloval jsem pro tento profil tvářecí kola a pro názornost ještě uvedl model pro podobný profil ISA. Ty jsem vytvořil v programu SolidWorks a obrázky udělal buď rendrováním nebo výstřížkem plochy. Z konstrukčního hlediska je zapotřebí ještě vyřešit uložení kol, pohon, bezpečnostní a ovládací prvky stroje a mnohé další. O tuto problematiku by bylo možné práci následně rozšířit, zatím jsem ji popsal velice stručně. Z technologického hlediska bych uvedl například dělení kol v místě broušených tvářecích ploch, které musí být dělené z důvodu nepřesnosti výroby a kolo musí být následně distančními podložkami přesně vycentrováno. V příloze jsou 3 dílčí výkresy a jeden sestavový, na kterém lze vidět uložení kol a jejich napolohování vůči střední rovině, broušené plochy a technologické zpracování kola.

Dnes již zaznamenal způsob výroby těchto trubek značné inovace do podob číslicově řízených strojů a automatizace.

**Citovaná literatura**

1. *Nezáleží, proti kterým vlivům se chcete ochránit.* místo neznámé : WESTFALIA Metal s.r.o., 2015. str. 4.
2. *Pro každý dův vhodná vložka.* místo neznámé : WESTFALIA Metal s.r.o., 2015. str. 4.
3. Mannesmanův způsob. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02-valcovani/04.jpg.
4. Stiefelův způsob. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02-valcovani/05.jpg.
5. Heřman, Jan a Hezina, Miroslav. *RVT [Rozvoj vědy a techniky] průmyslového odvětví: hutnictví a strojírenství. 1. vyd.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1983. str. 211.
6. Schéma válcování na poutnické stolici. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02-valcovani/06.jpg.
7. Výroba trubek - polotovary. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/6624/mod_resource/content/0/V%C3%9DROBA%20TRUBEK.pdf.
8. Tříválcová stolice s detailem tvaru válce. [Online] [Citace: 27. 4 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02-valcovani/07.jpg.
9. Válcovací trať s příčnými válci. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02-valcovani/08.jpg.
10. Ambrož, Oldřich, Kandus, Bohumil a Kubíček, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení.* 1. Ostrava : Česká svářečská společnost ANB, ZEROSS - svářečské nakladatelství, 2001. 80-85771-81-0.
11. Podstata švového svařování. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://eluc.cz/uploads/images/12451/content_svove_svarovani_trub.jpg.
12. Westfalia quality. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ht-ac.com/uploads/pics/130405_makr_Westfalia_Validation_Hexapod.jpg.
13. Westfalia Contact. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ht-ac.com/uploads/pics/130331_makr_Metal_Hoses_Collage_490.jpg.
14. STROJ NA VÝROBU NEREZOVÝCH KOMÍNOVÝCH VLOŽEK. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] <http://www.swah.cz/download.php?cz/Stroj%20na%20vyrobu%20nerezovych%20kominovych%20vlozek.pdf>.
15. Ohýbání válcováním na válcích. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/21.jpg.
16. Protection Hose - Type ISA. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ht-ac.com/uploads/pics/130415_makr_Geometrie_ISA.jpg.
17. Protection Hose - Type ISE. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] http://www.ht-ac.com/uploads/pics/130415_makr_Geometrie_ISE.jpg.
18. Odvíječ pásů. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] <http://www.logismarket.cz/ip/p-a-bohemia-odvijeci-zarizeni-odvijak-ld-409115-FGR.jpg>.
19. Kuře, František. *Válcování za studena.* Ostrava : autor neznámý, 1971.

20. Část I - Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. [Online] [Citace: 19. 4 2015.] www.ksp.tul.cz/.
21. Wiesner, František. *Válcování ocelových pásů za studena: určeno také studentům na středních školách*. 3. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1976. str. 310. obr. příl..
22. Kalení a popouštění. [Online] [Citace: 21. 4 2015.] <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep07.pdf>.
23. H&T Automotive Components – Home. [Online] [Citace: 20. 4 2015.] www.westfalia-group.com/.
24. Počta, Bohumil. *Ocelové trubky: Svařované trubky*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1964. str. 225.
25. —. *Ocelové trubky: Bezešvé trubky*. 1963 : Státní nakladatelství technické literatury. str. 413.
26. Žák, Jan, Brumbálek, Bohumil a Samek, Radko. *Speciální letecké technologie*. 1. Brno : Československá redakce VN MON, 1990. str. 220.
27. Dvořák, Milan. *Technologie II Vyd. 3., dopl.,*. Brno : Akademické nakl. CERM, 2004. str. 238. 80-214-2683-7.
28. 131. Výroba trubek, tváření plechů a pásů - Smaturita. [Online] [Citace: 19. 4 2015.] smaturita.wz.cz/tech/131.doc.
29. Výroba trubek soubor - Moodle. [Online] [Citace: 19. 4 2015.] www.moodle-trebesin.cz/mod/resource/view.php?id=4427.
30. H&T Automotive Components – Home. [Online] [Citace: 20. 4 2015.] www.ht-ac.com/cs/home.html.
31. SWAH s.r.o. [Online] [Citace: 20. 4 2015.] www.swah.cz/.
32. Nástrojová vysokolegovaná Cr-V-Mo ocel pro práci za studena. [Online] [Citace: 21. 4 2015.] <http://media0.dobrodruh.net/files/media0:50f87aae6ed27.pdf.upl/19573.pdf>.
33. Nástrojová ocel 1.2379. [Online] [Citace: 21. 4 2015.] <http://www.bolzano.cz/assets/files/NO/1.2379%20%C4%8Cesky.pdf>.
34. Technologie objemového tváření – válcování. [Online] [Citace: 26. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm.
35. Technologie objemového tváření – protlačování. [Online] [Citace: 26. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/05.htm.
36. Technologie objemového tváření - tažení drátů a profilů . [Online] [Citace: 26. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/04.htm.
37. Technologie plošného tváření – ohýbání. [Online] [Citace: 26. 5 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm.
38. Elektrické odporové svařování. [Online] [Citace: 26. 5 2015.] <http://eluc.cz/verejne/lekce/1808>.



Seznam použitých značek

Označení	Legenda	Jednotka
$R1$	Poloměr prvního zaoblení	$[m]$
$R2$	Poloměr druhého zaoblení	$[m]$
$R3$	Poloměr třetího zaoblení	$[m]$
$R4$	Poloměr čtvrtého zaoblení	$[m]$
σ_1	Napětí tlakové	$[Pa]$
σ_2	Napětí tahové	$[Pa]$
σ_3	třetí hlavní napětí	$[Pa]$
ε_2	prodloužení kovu ve směru napětí σ_2	$[-]$
E	modul pružnosti kovu	$[N \cdot m^{-2} = Pa]$
σ_K	přetvárná pevnost	$[N \cdot m^{-2} = Pa]$
η	Přetvárná účinnost	$[-]$
$\sigma_{K,0}$	mez kluzu $\sigma_{0,2}$ před tvářením	$[N \cdot mm^{-2}]$
$\sigma_{K,1}$	mez kluzu $\sigma_{0,2}$ po tváření	$[N \cdot mm^{-2}]$
$k_{stř}$	Střední přetvárný odpor	$[Pa]$
v_{st}	Střední rychlost deformace	$[m \cdot s^{-1}]$
v_1	rychlost výstupu kovu z válce	$[m \cdot s^{-1}]$
l_d	délka oblouku styku	$[m]$
h_0	vstupní tloušťka pásu	$[m]$
h_1	výstupní tloušťka pásu	$[m]$
TL	Tloušťka pásku	$[m]$
B	Šířka pásku	$[m]$
D	Délka strany	$[m]$
X	Délka části ohybové střednice	$[m]$
C	Délka středu	$[m]$
$L1$	Délka oblouku ohybové střednice	$[m]$
$L2$	Délka oblouku redukované ohybové střednice	$[m]$
X'	Délka části redukované ohybové střednice	$[m]$

Seznam příloh

Výkresová dokumentace	Číslo výkresu
Sestava kol	00-00-A3-00
Kolo tvářecí 1/1	01-01-A4-00
Kolo tvářecí 1/2	01-02-A4-00
Kolo tvářecí 1/2	01-02-A4-00